

超声波辅助提取茶多酚工艺条件的优化

宋传奎,肖 斌,王艳丽,李 瑞,宋红霞

(西北农林科技大学 园艺学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】探索超声波辅助提取茶多酚的最佳工艺条件,为茶多酚的提取和综合利用奠定基础。【方法】以紫阳群体种绿茶为材料,采用二次回归正交旋转组合设计对茶多酚超声波辅助提取工艺进行优化。【结果】建立了料(g)液(mL)比、乙醇体积分数、超声时间、超声温度、超声波功率 5 因素与茶多酚提取率之间的回归优化模型,模型拟合检验 $P < 0.000 1$,决定系数 $R^2 = 0.926 0$,失拟性检验 $P = 0.223 4 > 0.05$ 不显著,模型达到极显著水平,无失拟因素存在,回归模型与实测值能够较好拟合。5 因素对茶多酚提取率的影响大小依次为:料液比>乙醇体积分数>超声温度>超声时间>超声波功率。从模型得出的最佳提取工艺为:料(g)液(mL)比 1 : 35.8,乙醇体积分数 77.6%,超声时间 37.6 min,超声温度 72.1 °C,超声波功率 248.4 W。【结论】优化了茶多酚超声波辅助提取的最佳工艺,在优化后的最佳工艺参数下,茶多酚提取率最高可达 21.78%,较传统乙醇浸提方法提取时间缩短,且提取率提高了 8.56%。

【关键词】 茶多酚;提取率;超声波辅助提取;工艺优化

【中图分类号】 S571.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)05-0133-07

Optimizing of ultrasonic wave-assisted extraction process of tea-polyphenols substance from green tea

SONG Chuan-kui, XIAO Bin, WANG Yan-li, LI Rui, SONG Hong-xia

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The present study aimed to optimize ultrasonic wave-assisted extraction process of tea-polyphenols substance to provide theoretical parameters for its exploitation extraction and comprehensive utilization. 【Method】 With Ziyang population variety as test material, quadratic orthogonal rotation combination design was used to optimize ultrasonic wave-assisted extraction process of tea-polyphenols substance. 【Result】 A quadratic regression orthogonal model was established to express the relationship between total polyphenol yield and five factors including ratio of solid to liquid, ethanol concentration, ultrasonic time, ultrasonic temperature and ultrasonic Power; Equation fit test $P < 0.000 1$, coefficient of determination $R^2 = 0.926 0$, loss of fit test $P = 0.223 4 > 0.05$ not significant, the model was extremely significant, and there was no loss of fit factors, regression models with the measured values can be well fitted. The factor order on extraction yield from strong to weak was ratio of solid to liquid > ethanol concentration > ultrasonic temperature > ultrasonic time > ultrasonic Power. According to this model, the best extraction technology is based on ultrasonic extraction at 72.1 °C, 248.4 W for 37.6 min using 77.6% ethanol and 1 : 35.8(g/mL) of green tea and liquid. 【Conclusion】 The optimal ultrasonic wave-assisted extraction conditions were determined. On the conditions the highest yield of tea-polyphenols was 21.78%.

* [收稿日期] 2010-10-14

[基金项目] 国家茶叶产业技术体系项目(Z225020801)

[作者简介] 宋传奎(1985—),男,山东巨野人,在读硕士,主要从事茶叶化学与综合利用研究。E-mail: sckfriend@163.com

[通信作者] 肖 斌(1957—),男,陕西周至人,教授,硕士生导师,主要从事茶叶化学与制茶工程研究。

E-mail: xiaobin2093@sohu.com

Compared to the traditional organic solvent extraction method at the same condition, the yield of TP was enhanced by 8.56% and the extraction time was reduced.

Key words: tea polyphenols; extraction yield; ultrasonic wave-assisted extraction; process optimization

茶多酚(Tea polyphenols, TP)占茶叶干质量的18%~36%^[1],对机体的活性氧自由基和脂类自由基具有较强的清除能力,此外还具有抗畸变、抗遗传毒性^[2]、降血糖^[3]、拮抗酒精^[4]和百草枯^[5]等外源物质毒性及抑制肿瘤发生和防治神经退行性疾病等功效^[6],在油脂、食品、医药、化妆品及饮料等领域具有广泛的应用前景。因此,TP提取技术和应用研究备受国内外学者的关注。TP提取方法主要有有机溶剂萃取法、金属盐沉淀法、树脂吸附分离法、膜渗透分离法和超临界萃取法^[7]等。

超声波辅助提取法利用机械效应、空化效应及热效应加强胞内物质的释放、扩散及溶解^[8],提取时间短、提取温度低、回收率高、氧化损耗小,在中草药等天然物质有效成分提取中应用广泛^[9-11]。目前,关于TP提取工艺的研究报道虽然较多,但以超声波辅助提取TP的工艺研究较少,且各研究所得工艺参数相差很大^[12-13]。据报道,用超声波辅助提取TP具有不改变TP样品的性状和有效成分的结构^[14]及提高氨基酸、可溶性蛋白质、简单儿茶素、酯型儿茶素等的浸出率^[15]等优点。因此,有必要对超声波辅助提取TP的工艺进行进一步研究。本试验以紫阳群体种绿茶为材料,利用二次回归旋转正交组合设计方法,建立了料液比、乙醇体积分数、超声时间、超声温度、超声波功率5因子与提取率的回归方程模型,通过主因子、单因子及因子间的互作效应分析,确定了TP超声波辅助醇提的最佳工艺条件,旨在为茶叶深加工和茶多酚的深度开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

1.1.1 茶 叶 供试茶叶为陕西紫阳群体种绿茶,

采自陕西省汉中市西乡县西北农林科技大学茶叶科技示范基地种质资源圃,于2010年春季按一芽二叶标准采摘后,杀青(炒青)。

1.1.2 主要试剂 硫酸亚铁、酒石酸钾钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、乙醇等试剂,均为分析纯(AR)。

酒石酸亚铁溶液的配制:称取硫酸亚铁1.000 g和酒石酸钾钠5.000 g加入1 L容量瓶中,用蒸馏水溶解并定容(现配现用)。

pH7.5 磷酸盐缓冲液的配制:准确称取磷酸氢二钠23.877 g和磷酸二氢钾9.078 g,分别置于1 L容量瓶中,用蒸馏水溶解并定容。分别取磷酸氢二钠溶液85 mL和磷酸二氢钾溶液15 mL于100 mL容量瓶中,混合均匀即得pH7.5的磷酸盐缓冲液。

1.1.3 主要仪器 KQ-500DE型数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司生产),752型紫外光栅分光光度计(上海分析仪器总厂制造),SHZ-3型循环水真空泵(河南省巩义市英峪中华仪器厂生产),BP211D型电子天平(德国赛多利斯(Sartorius)公司产品)。

1.2 试验设计

取经过初加工的杀青茶叶100 g,放入烘箱中干燥后分拣去杂,然后用研钵人工研碎,过孔径为0.245 mm的筛,混合均匀,置4℃冰箱中备用。

根据文献[9,16]和预试验结果,以陕西紫阳群体绿茶为原料,采用五元二次回归正交旋转组合设计方法(1/2实施),对茶多酚超声波辅助醇提工艺中的主要参数(料(g)液(mL)比(X_1))、乙醇体积分数(X_2)、超声时间(X_3)、超声温度(X_4)、超声波功率(X_5))进行优化,试验因子及其编码水平详见表1。

表 1 TP 提取五元二次回归正交旋转组合设计的因素及水平

Table 1 Variables and levels in five-variable, five-level quadratic orthogonal rotation combination design

水平 Level	因素 Factors				
	料(g)液(mL)比(X_1) Solid/Liquid	乙醇体积 分数(X_2)/%	时间(X_3)/min Time	温度(X_4)/℃ Temperature	超声波 功率(X_5)/W Ultrasonic power
		Ethanol concentration			
—2	1 : 8	40	15	25	200
—1	1 : 16	50	20	40	250
0	1 : 24	60	25	55	300
1	1 : 32	70	30	70	350
2	1 : 40	80	35	85	400

1.3 TP 提取率的测定

用天平准确称取若干份 1.000 g 粉碎后的茶叶粉末,放入 50 mL 离心管中,按照试验设计进行超声波提取,结束后趁热真空抽滤(滤纸为 whatman 定性滤纸),用热水洗涤残渣 2~3 次,合并滤液,冷却后定容于 100 mL 容量瓶中,摇匀,备用。准确吸取 TP 试液 1 mL,注入 25 mL 的容量瓶中,加水 4 mL 和酒石酸铁溶液 5 mL,充分混合,再加 pH 7.5 缓冲溶液至刻度,以试剂空白溶液为参比,用 10 mm 比色皿,于 540 nm 处测定吸光度(A_{540}),每个试样重复测定 2 次。计算 TP 的提取率:

$$\text{TP 提取率} = \frac{A \times 1.957 \times 2 \times L_1 \times 100}{L_2 \times M \times m \times 1\,000} \times 100\%。$$

式中: A 为试样的吸光度(A_{540}); L_1 为试液的总量(100 mL); L_2 为测定时的用液量(1 mL); M 为试样的质量(g); m 为试样干物质的含量(%);1.957 为用 10 mm 比色皿比色时,当吸光度等于 0.50 时,每毫升茶汤中的 TP 含量(mg)。

1.4 数据处理

试验数据用 Excel 和 SAS 8.0 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 超声波辅助提取 TP 工艺回归模型的建立与检验

超声波辅助提取 TP 的二次回归旋转组合试验结果见表 2。

表 2 超声波辅助提取 TP 的二次回归旋转组合试验结果

Table 2 Arrangement of three-factor,five-level quadratic orthogonal rotation combination design and experimental data of ultrasonic wave-assisted extraction process of tea-polyphenols substance from green tea						
试验序号 No.	料液比(X_1) Solid/Liquid	乙醇体积分数(X_2) Ethanol concentration	超声时间(X_3) Ultrasonic time	超声温度(X_4) Ultrasonic temperature	超声功率(X_5) Ultrasonic power	TP 提取率(Y)/%
1	1	1	1	1	1	20.452 2
2	1	1	1	-1	-1	20.225 5
3	1	1	-1	1	-1	19.301 5
4	1	1	-1	-1	1	19.127 4
5	1	-1	1	1	-1	18.539 7
6	1	-1	1	-1	1	18.496 1
7	1	-1	-1	1	1	18.361 9
8	1	-1	-1	-1	-1	18.530 4
9	-1	1	1	1	-1	18.926 2
10	-1	1	1	-1	1	18.578 3
11	-1	1	-1	1	1	17.799 3
12	-1	1	-1	-1	-1	18.084 0
13	-1	-1	1	1	1	16.305 1
14	-1	-1	1	-1	-1	17.508 1
15	-1	-1	-1	1	-1	16.847 9
16	-1	-1	-1	-1	1	19.179 6
17	2	0	0	0	0	20.676 3
18	-2	0	0	0	0	16.394 0
19	0	2	0	0	0	20.231 7
20	0	-2	0	0	0	17.041 5
21	0	0	2	0	0	18.669 8
22	0	0	-2	0	0	19.141 9
23	0	0	0	2	0	19.187 6
24	0	0	0	-2	0	18.409 9
25	0	0	0	0	2	19.426 5
26	0	0	0	0	-2	19.386 5
27	0	0	0	0	0	20.323 7
28	0	0	0	0	0	20.232 3
29	0	0	0	0	0	20.391 6
30	0	0	0	0	0	21.292 4
31	0	0	0	0	0	21.335 3
32	0	0	0	0	0	20.352 3
33	0	0	0	0	0	20.017 1
34	0	0	0	0	0	21.267 1
35	0	0	0	0	0	20.628 8
36	0	0	0	0	0	21.118 3

根据表 2 试验结果,用 SAS 8.0 统计软件中的 RSREG 过程计算各项回归系数,建立 TP 提取率(Y)与 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 的数学回归模型为:

$$Y=20.6826+0.7655X_1+0.6294X_2+0.0356X_3-0.0683X_4+0.0174X_5-0.5202X_1^2+0.1020X_2X_1-0.4949X_2^2+0.1866X_3X_1+0.3713X_3X_2-0.4276X_3^2+0.2342X_4X_1+0.2577X_4X_2+0.1266X_4X_3-0.4543X_4^2-0.0410X_5X_1-0.0935X_5X_2-0.1920X_5X_3-0.1081X_5X_4-0.3024X_5^2。$$

由于方程是经无量纲线性编码代换后所得,其中的各项回归系数已经标准化,因此可以直接以其

绝对值的大小判断各因子的重要性^[17],从线性项看: $X_1>X_2>|X_4|>X_3>X_5$,即各因素对 TP 提取率的影响由强到弱依次为:料液比>乙醇体积分数>超声温度>超声时间>超声功率。对回归系数进行显著性检验,结果见表 3。由表 3 可知,在一次项中,料液比和乙醇体积分数对 TP 提取率有极显著影响,其他因素对 TP 提取率的影响均不显著;在交互项中,只有乙醇体积分数与超声时间交互项对 TP 提取率有显著影响;在二次项中,5 个因子对 TP 的提取率均有极显著影响,且均为负值。结果表明,5 种因素都具有最佳值,水平过高或过低都会影响 TP 的提取率。

表 3 超声波辅助提取 TP 数学模型的回归系数及显著性检验

Table 3 Model coefficients estimated by multiples linear regression of ultrasonic wave-assisted extraction process of tea-polyphenols substance from green tea					
系数项 Parameter	自由度 df	估计值 Estimate	标准误差 Standard error	t 值 t value	P 值 Pr> t
截距 Intercept	1	20.682 6	0.178 8	115.69	<0.000 1
X_1	1	0.765 5	0.117 0	6.54	<0.000 1
X_2	1	0.629 4	0.117 0	5.38	<0.000 1
X_3	1	0.035 6	0.117 0	0.30	0.765 0
X_4	1	-0.068 3	0.117 0	-0.58	0.568 0
X_5	1	0.017 4	0.117 0	0.15	0.884 1
X_1^2	1	-0.520 2	0.101 4	-5.13	0.000 1
X_2^2	1	-0.494 9	0.101 4	-4.88	0.000 2
X_3^2	1	-0.427 6	0.101 4	-4.22	0.000 7
X_4^2	1	-0.454 3	0.101 4	-4.48	0.000 4
X_5^2	1	-0.302 4	0.101 4	-2.98	0.009 3
X_2X_1	1	0.102 0	0.143 3	0.71	0.487 8
X_3X_1	1	0.186 6	0.143 3	1.30	0.212 7
X_3X_2	1	0.371 3	0.143 3	2.59	0.020 5
X_4X_1	1	0.234 2	0.143 3	1.63	0.123 1
X_4X_2	1	0.257 7	0.143 3	1.80	0.092 3
X_4X_3	1	0.126 6	0.143 3	0.88	0.391 0
X_5X_1	1	-0.041 0	0.143 3	-0.29	0.778 9
X_5X_2	1	-0.093 5	0.143 3	-0.65	0.523 9
X_5X_3	1	-0.192 0	0.143 3	-1.34	0.200 3
X_5X_4	1	-0.108 1	0.143 3	-0.75	0.462 3

为了说明回归模型的有效性和各因子对 TP 提取率影响的重要程度,对回归方程和各回归因子进

行统计检验,结果见表 4 和表 5。

表 4 超声波辅助提取 TP 回归方程的方差分析

Table 4 The table of analysis of orthogonal test on regression equation of ultrasonic wave-assisted extraction process of tea-polyphenols substance from green tea					
方差来源 Source of variance	自由度 df	平方和 Sum of squares	均方和 Mean square	F 值 F value	P 值 Pr>F
回归模型 Total model	20	61.668 4	0.926 0	9.38	<0.0001
误差 Total error	15	4.931 4	0.328 8		
总和 Total sum	35				

由表 4 可见,方程拟合检验 $F=9.38$, $P<0.0001$,决定系数 $R^2=0.9260$,表明该方程模型达到极显著水平,说明所选用的二次回归模型是适当

的,模型的预测值与实际值非常吻合,准确地反映了 TP 提取率与料液比、乙醇体积分数、超声时间、超声温度、超声波功率 5 因素间的关系。由表 5 可知,回

归方程的失拟性检验 $F = 1.72$ ($P = 0.2234 > 0.05$),不显著,说明该方程无失拟因素存在,回归模

表 5 超声波辅助提取 TP 回归方程各项的方差分析

Table 5 The table of analysis of orthogonal test on regression equation of ultrasonic wave-assisted extraction process of tea-polyphenols substance from green tea

方差来源 Source of variance	自由度 <i>df</i>	平方和 Sum of squares	均方和 Mean square	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	<i>P</i> 值 <i>Pr</i> > <i>F</i>
一次项 Linear	5	23.719 7	0.356 2	14.43	<0.000 1
二次项 Quadratic	5	31.878 7	0.478 7	19.39	<0.000 1
交互项 Crossproduct	10	6.070 0	0.091 1	1.85	0.137 2
失拟项 Lack of fit	6	2.632 6	0.438 8	1.72	0.223 4
纯误差 Pure error	9	2.298 7	0.255 4		
总误差 Total error	15	4.931 4	0.328 8		

2.2 超声波辅助提取 TP 回归模型的解析

2.2.1 单因子效应解析 为了探索单一因素与 TP 提取率的关系,采用“降维法”将 5 个自变量中的 4 个自变量固定取 0 水平,考察另一个自变量与 TP 提取率(*Y*)的关系,可以导出如下子模型:

1)料液比。

$Y_1=20.6826+0.7655X_1-0.5202X_1^2;$

2)乙醇体积分数。

$Y_2=20.6826+0.6294X_2-0.4949X_2^2;$

3)超声时间。

$Y_3=20.6826+0.0356X_3-0.4276X_3^2;$

4)超声温度。

$Y_4=20.6826-0.0683X_4-0.4543X_4^2;$

5)超声波功率。

$Y_5=20.6826+0.0174X_5-0.3024X_5^2。$

对上述 5 个方程分别作图,结果见图 1。

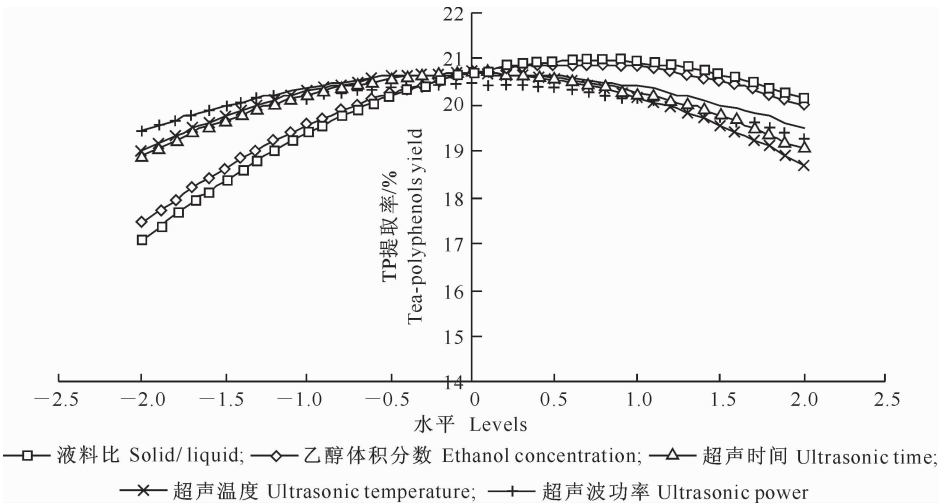


图 1 超声波辅助提取 TP 的单因子效应分析

Fig.1 Effects of single factor of ultrasonic wave-assisted extraction process of tea-polyphenols substance from green tea

由图 1 可知,随着各因素水平的增大,TP 提取率总体均呈先增大后减小的趋势,其中超声时间、温度和功率在其编码水平为 0 时,TP 提取率最高;料液比和乙醇体积分数在其编码水平为 1 时,TP 的提取率最高。可见,5 因素对 TP 的提取率均有影响,但影响程度并不同,其中以料液比(X_1)对 TP 提取率的影响最大,变化趋势最明显,其次为乙醇体积分数。

2.2.2 多因子交互效应解析 本试验建立的模型中,由回归方程偏回归系数显著性检验可知,只有乙醇体积分数(X_2)和超声时间(X_3)之间存在显著交互作用,其他因子间的交互作用均不显著。为了研究乙醇体积分数和超声时间 2 个因素交互作用对 TP 提取率的影响,采用降维分析方法将其他 3 个因素固定在 0 水平,得到乙醇体积分数和超声时间交互效应的二元二次方程:

$Y=20.6826+0.6294X_2+0.0356X_3-0.4949X_2^2+0.3713X_3X_2-0.4276X_3^2。$

采用 SAS 8.0 统计软件绘制乙醇体积分数和超声时间之间的响应面(图 2)和等高线图(图 3)。

由图 2 可知,当乙醇体积分数在低水平时,增加超声时间对 TP 提取率影响不大;当乙醇体积分数在高水平时,随超声时间的延长,TP 提取率显著增加。由此可见,为了提高 TP 提取率,乙醇体积分数是一个很重要的控制因子。由图 3 可以看出,当超声时间编码值为 0~2、乙醇体积分数编码值为-2~0 时,TP 提取率随乙醇体积分数的增加而增大;当乙

醇体积分数编码值为-2~0、超声时间编码值为-2~0 时,TP 提取率随超声时间的延长而增大,但当超声时间编码值为 0~2 时,TP 提取率随超声时间的延长而下降。其可能原因是超声时间过长,TP 发生氧化或结构遭到破坏所致。以上结果说明,乙醇体积分数、超声时间及其交互作用对 TP 提取率有很大的影响。

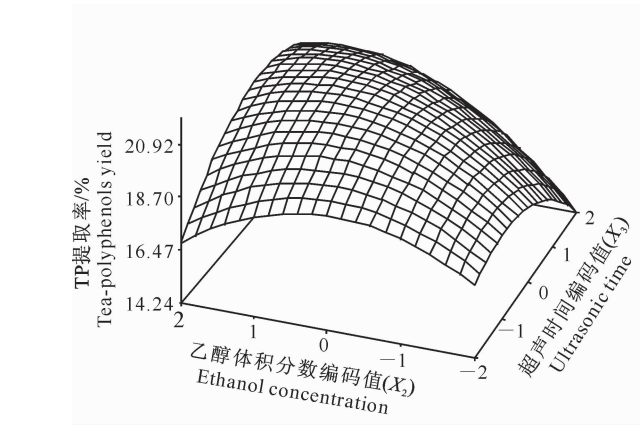


图 2 TP 提取的乙醇体积分数和超声时间响应面
Fig. 2 Response surface graph of the ethanol concentration and the time ultrasonic process

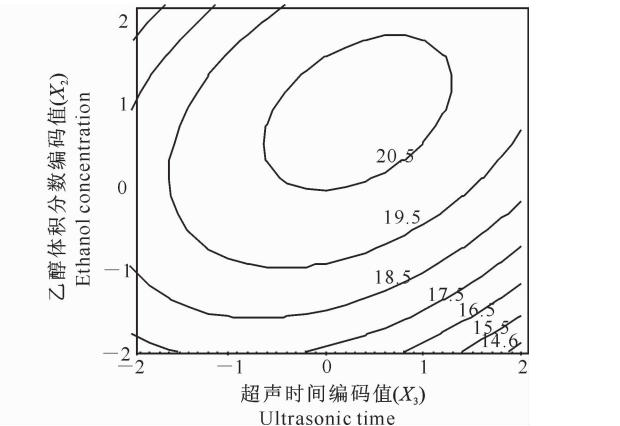


图 3 TP 提取的乙醇体积分数和超声时间等高线
Fig. 3 Contour map of the ethanol concentration and the time ultrasonic process

2.3 TP 提取的最佳工艺条件及其与传统浸提方法的比较

2.3.1 最佳工艺条件的预测及验证 通过 SAS 编程,对方程(1)进行典型分析,得出 TP 提取各因素的最佳编码值如下: X_1 为 1.478 5、 X_2 为 1.755 0、 X_3 为 1.526 6、 X_4 为 1.139 1、 X_5 为-1.031 3,即料液比为 1:35.8、乙醇体积分数为 77.6%、超声时间为 37.6 min、超声温度为 72.1℃、超声波功率为 248.4 W(表 6),在此条件下,TP 提取率可达最大值

21.78%。为了检验结果的可靠性,对上述最优条件进行验证试验,并考虑操作的可行性,在料液比 1:36、乙醇体积分数 77.6%、超声时间 38 min、超声温度 72℃、超声波功率 250 W 的条件下提取 TP,重复 3 次,得 TP 实测提取率为 21.47%,RSD=0.839%,与理论值基本一致(表 6),说明本研究基于二次旋转正交所得的优化提取工艺参数准确可靠。

表 6 超声波辅助提取 TP 的最佳工艺条件及验证

Table 6 Optimizing value and validation on ultrasonic wave-assisted extraction process of tea-polyphenols substance from green tea

因子 Factors	理论编码值 Theoretical codes	理论条件 Theoretical condition	理论提取率/% Theoretical yield	实测提取率/% Experimental yield	相对标准偏差/% RSD
料液比(X_1) Solid/Liquid	1.478 5	1:35.8			
乙醇体积分数(X_2) Ethanol concentration	1.755 0	77.6%			
超声时间(X_3) Ultrasonic time	1.526 6	37.6 min	21.78	21.47	0.839
超声温度(X_4) Ultrasonic temperature	1.139 1	72.1℃			
超声波功率(X_5) Ultrasonic power	-1.031 3	248.4 W			

2.3.2 与传统乙醇浸提方法的比较 参考优化后的超声提取条件,设定传统有机溶剂浸提的条件为:温度 72℃、料液比 1:36、乙醇体积分数 77.6%,在该条件下提取 TP,重复 3 次,研究传统乙醇浸提过程中浸提时间对 TP 提取率的影响。由图 4 可知,

传统乙醇浸提在 50 min 左右可获得 TP 提取率最大值(20.061 8±0.285)%,而超声波辅助提取在 37.6 min 时就可取得理论最大值 21.78%,且 TP 提取率较传统乙醇浸提法提高了 8.56%。

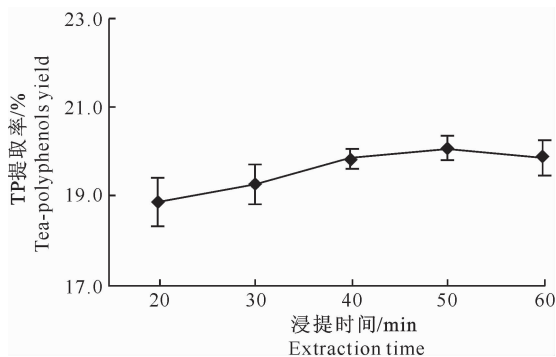


图4 传统乙醇浸提法下浸提时间对TP提取率的影响

Fig. 4 Effect of traditional ethanol extraction time on the yield of tea polyphenols

3 结论

本研究以紫阳群体绿茶为原料,采用五因素二次回归旋转正交组合试验设计建立了料液比、乙醇体积分数、超声时间、超声温度、超声波功率5个因素与TP提取率之间的回归模型,方差分析结果表明,该模型拟合极显著,失拟不显著,在本研究条件下能较准确地预测TP的提取率。

5个因素对超声波辅助提取TP的影响大小依次为料液比>乙醇体积分数>超声温度>超声时间>超声波功率,其中料液比的影响最大,这与郭树琴等^[12]和郑海燕等^[18]的研究结果一致。超声温度、超声时间和超声波功率3因素编码水平在0~2时,TP提取率随编码值的增加而显著下降,这可能是因为温度过高、时间过长、超声功率过大时,TP类物质结构遭到破坏或发生氧化所致。

超声波辅助提取TP的最佳工艺条件为:料液比1:35.8、乙醇体积分数77.6%、超声时间37.6 min、超声温度72.1℃、超声波功率248.4 W,在此条件下TP提取率可达最大,为21.78%。对上述最优条件进行验证试验,结果表明,TP提取率实测值与理论值基本一致,说明本试验建立的回归模型是合理的,该模型可用于对TP的超声波辅助提取工艺进行回归分析和参数优化。

相同条件下,传统乙醇浸提法在50 min左右TP提取率达最大((20.061 8±0.285)%),而超声波辅助提取在37.6 min时已达理论最大值(21.78%),且TP提取率较乙醇浸提法提高了8.56%。

致谢:本研究是借助于北京大学城市与环境学院试验平台完成的,其间得到了院内各位老师和师兄、师姐的无私帮

助;山西大学资源环境学院刘汪洋在试验过程中给予大力帮助;西北农林科技大学茶学实验室肖斌、余有本、周天山老师给予了热情指导,李瑞、宋红霞、王艳丽等同学在样品采集中给予了无私帮助,在此一并致谢!

【参考文献】

- [1] 杨贤强,王岳飞,陈留记,等.茶多酚化学[M].上海:上海科技出版社,2003,59:127-151.
Yang X Q, Wang Y F, Chen L J, et al. Chemistry of tea polyphenols [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2003, 59: 127-151. (in Chinese)
- [2] Medhumi R, Sutapa C, Dona S, et al. Antielastogenic, anti-tigenotoxic and apoptotic activity of epigallocatechin gallate; a green tea polyphenol [J]. Mutat Res, 2003, 523: 33-41.
- [3] 丁仁凤,何普明,揭国良.茶多糖和茶多酚的降血糖作用研究[J].茶叶科学, 2005, 25(3): 219-224.
Ding R F, He P M, Jie G L. Study on the hypoglycemic mechanism of tea polysaccharides and tea polyphenols [J]. Journal of Tea Science, 2005, 25(3): 219-224. (in Chinese)
- [4] Sang I L, Hyo J K, Yong C B. Effect of green tea and (-)-epigallocatechin gallate on ethanol-induced toxicity in HepG2 cells [J]. Phytotherapy Research Phytotherres, 2008, 22: 669-674.
- [5] Rose M S, Smith L L, Wyatt I. The relevance of pentose phosphate pathway stimulation in rat lung to the mechanism of paraquat toxicity [J]. Biochem Pharmacol, 1976, 25: 1763-1767.
- [6] 赵保路.茶多酚保护脑神经防止帕金森病损伤作用及其分子机理[J].生物化学和生物物理进展, 2008, 35(7): 735-743.
Zhao B L. Protective effects of green tea polyphenols against parkinson's disease [J]. Progress in Biochemistry and Biophysics, 2008, 35(7): 735-743. (in Chinese)
- [7] 戴群晶.用茶末及废茶枝叶提取高纯茶多酚的研究[J].现代食品科技, 2007, 22(1): 45-47.
Dai Q J. Study on extraction of active tea polyphenols from tea dust and waste tea branches and leaves [J]. Modern Food Science and Technology, 2007, 22(1): 45-47. (in Chinese)
- [8] 严伟,李淑芬,田松江.超声波协助提取技术[J].化工进展, 2002, 21(9): 649-651.
Yan W, Li S F, Tian S J. Ultrasound-assisted extraction technology [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2002, 21(9): 649-651. (in Chinese)
- [9] 何泊为,赵培城.龙井绿茶茶多酚提取工艺研究[J].江苏调味副食品, 2009, 26(6): 11-14.
He B W, Zhao P C. Study on the extraction of tea polyphenols from lung-ching green tea [J]. Jiangsu Condiment and Subsidiary Food, 2009, 26(6): 11-14. (in Chinese)
- [10] 曾里,夏之宁.超声波和微波对中药提取的促进和影响[J].化学研究与应用, 2002, 14(3): 245-249.
Zeng L, Xia Z N. The improvement and influence of ultrasonic and microwave irradiation on the extraction of traditional Chinese medicine [J]. Chemical Research and Application, 2002, 14(3): 245-249. (in Chinese)